

## 腐植物質・土壌と界面活性剤の相互作用と移動現象

## Humic substances, soil-surfactant interaction and its transport

石黒 宗秀

Ishiguro Munehide

## 1. はじめに

界面活性剤は、物質表面の性質を変える作用や、汚れを洗浄する作用があるため、生活や産業活動で多量に使用される化学物質である。生物細胞を破壊する能力があるため、環境汚染物質にも指定されており、環境中で使用するには注意が必要である。一方、地層中の原油の効率的回収や、有機物で汚染された土壌の浄化に利用される。腐植物質は、疎水性と親水性の部分を持つため、天然の界面活性剤でもある。腐植物質・土壌と界面活性剤の相互作用から、腐植物質・土壌の表面特性を評価することができる。ここでは、腐植物質・土壌と界面活性剤の相互作用についてまとめ、土壌中での界面活性剤の移動現象に及ぼす影響について発表する。土壌・腐植物質は複雑多様であるため、始めに単純なアニオン性高分子への界面活性剤の吸着について示し、その後、腐植物質・土壌への吸着を示す。最後に、土壌中の界面活性剤の移動現象について述べる。

## 2. アニオン性高分子への界面活性剤の吸着

図1にアニオン性高分子（ポリスチレンスルホン酸ナトリウム）へのカチオン性界面活性剤（塩化デシルピリジニウム）の吸着等温線を示す。界面活性剤濃度が低い領域では、両対数プロットで勾配がほぼ1である。これは、吸着サイトが独立で等しい吸着エネルギーを持つHenry型吸着を示す。界面活性剤と高分子は、反対符号の電荷を持つため、静電気力で吸着している。濃度が上昇すると、勾配が急になり、吸着量が急激に増大する。この領域では、界面活性剤は集合体を形成して高分子に吸着する。これを協同吸着とよぶ。協同吸着は、界面活性剤の疎水基部分の疎水性相互作用によって起こる。この現象は、アニオン性界面活性剤と中性高分子および、反対符号の電荷を持つ界面活性剤と高分子の間で起こる。電解質濃度が高くなると、電場遮蔽効果により吸着量が少なくなることが、図からわかる<sup>1)</sup>。

## 3. 腐植物質への界面活性剤の吸着

腐植酸・フルボ酸は、アニオン性界面活性剤を吸着しない。これは、両者とも負電荷を持ち電氣的反発力が働くためである。一方、図2に示すように、静電気引力によりカチオン性界面活性剤は吸着する。高分子で生じたような、急な吸着量の増加を示す明瞭な協同吸着は認めら

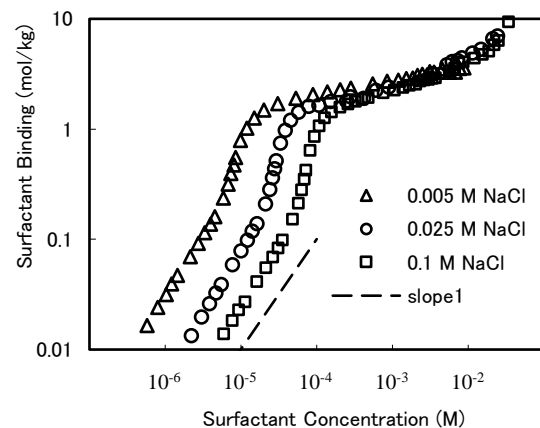


図1 アニオン性高分子へのカチオン性界面活性剤の吸着。  
Cationic surfactant adsorption to anionic polymer.

れない。界面活性剤が低濃度から吸着しやすい順に並べると、Aldrich 腐植酸 > 猪之頭 腐植酸 ≈ 段戸 腐植酸 > Strichen フルボ酸 ≈ Laurentian フルボ酸となる。フルボ酸より腐植酸に強く吸着することが明らかである。この順に、疎水性が低下することを示している。高分子の場合と同じく、電解質濃度が高くなると、電場遮蔽効果により界面活性剤吸着量は減少する。界面活性剤の疎水基鎖長が長くなるほど、疎水性相互作用が強くなるため、吸着は強くなる<sup>2)</sup>。

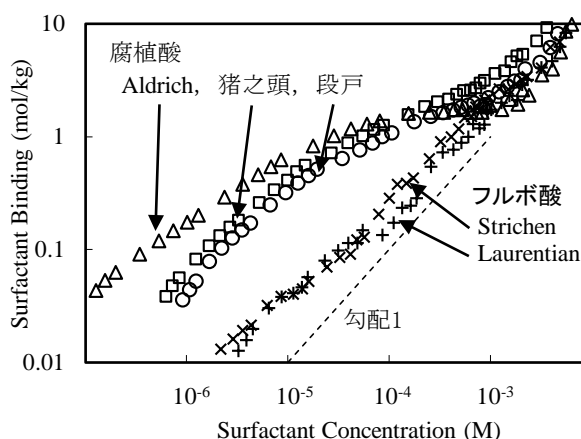


図2 腐植物質へのカチオン性界面活性剤の吸着。  
Cationic surfactant adsorption to humic substances.

#### 4. 多腐植質土壌へのアニオン性界面活性剤の吸着と移動現象

図3に、負電荷のみを持つ多腐植質非アロフェン質火山灰土へのアニオン性界面活性剤(ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム)の吸着等温線を示す。腐植酸・フルボ酸にアニオン性界面活性剤は吸着しないのに対し、多腐植質土壌には吸着する。これは、多腐植質土壌に疎水性表面が多いためと考えられる。電気的には反発力が働くため、電解質濃度が高くなると遮蔽効果により吸着量が増大する。吸着サイトの電位を考慮した Langmuir 式(1)式を用いて、吸着サイト電位を計算し、図3に示した。吸着サイト電位が吸着量に及ぼす影響が明らかである。

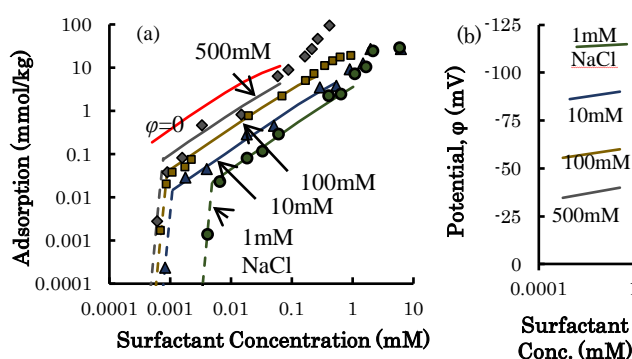


図3 (a)多腐植質土壌へのアニオン性界面活性剤の吸着と (b)吸着サイトの計算電位。  
(a) Anionic surfactant adsorption to humic soil and (b) calculated adsorption site potential.

$$\frac{\theta}{1-\theta} = KC \left( \frac{-e\phi}{kT} \right) \quad (1)$$

ここで、 $\theta$ は界面活性剤の吸着割合、 $K$ は定数、 $C$ は界面活性剤の土壌溶液中濃度、 $e$ は電気素量、 $\phi$ は吸着サイトの電位、 $k$ はボルツマン定数、 $T$ は絶対温度である。pHが増大すると、土壌の負荷電量が增大するため界面活性剤吸着量は減少する<sup>3)</sup>。

多腐植質土壌を用いてアニオン性界面活性剤の移動実験を行った。pHが増大すると、吸着量が増加するため、界面活性剤の流出は遅れる。電解質濃度を変化させた場合も、吸着量の変化の影響で界面活性剤の移動が変化する。

#### 引用文献

- 1) Ishiguro, M and L. K. Koopal : Binding of alkylpyridinium chloride surfactants to sodium polystyrene sulfonate, Colloids and Surfaces A; Physicochemical and Engineering Aspects, Vol.347, 69-75 (2009)
- 2) Ishiguro, M., W. Tan and L.K. Koopal : Binding of cationic surfactants to humic substances, Colloids and Surfaces A; Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 306, 29-39 (2007)
- 3) Ahmed, F., Ishiguro, M. : Effect of adsorption site potential on adsorption of sodium dodecylbenzenesulfonate in highly humic volcanic ash soil, Soil Sci. Plant Nutr., (2015) in press